

Г.П. Клименко, д-р техн. наук, Краматорск, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА СБОРНЫХ МНОГОЛЕЗВИЙНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Розроблена ієрархічна система властивостей, що складає якість багатолезових збірних інструментів на прикладі торцевих фрез. Розроблена математична модель надійності збірних фрез, застосування якої дозволяє обґрунтувати стратегію заміни відмовивших елементів фрези. Досліджена зносостійкість фрез з пластинами, виготовленими різними фірмами. Розроблені рекомендації з підвищення якості інструментів збірної конструкції.

Разработана иерархическая система свойств, составляющих качество многолезвийных сборных инструментов на примере торцевых фрез. Разработана математическая модель надежности сборных фрез, применение которой позволяет обосновать стратегию замены отказавших элементов фрезы. Исследована износостойкость фрез с пластинами, изготовленными разными фирмами. Разработаны рекомендации по повышению качества инструментов сборной конструкции.

Developed a hierarchical system of properties, which makes together multiblade modular instruments. Developed a mathematical model of reliability of modular cutter, which allows the application to justify the strategy of replacing failed elements of cutter. Investigated the wear cutters with blades, which are manufactured by different firms. Developed the recommendations on improving the quality of tools with assembled structure.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность металлообработки в значительной степени определяется качеством режущего инструмента, повышение уровня которого приводит к повышению производительности и к экономии инструментальных материалов.

Для количественной оценки качества сборных твердосплавных фрез был использован квалиметрический подход, который позволил сравнивать уровень качества различных конструкций сборных фрез, работающих в одинаковых условиях, а также выявить пути повышения качества инструмента [1, 2].

Разработана иерархическая система свойств, составляющих качество фрез, состоящая из свойств, расположенных на пяти уровнях. Самый нижний уровень состоит из простых свойств, характеристики которых определялись по результатам производственных испытаний фрез в условиях ЗАО НКМЗ, а также на основании статистических данных о работе инструмента в тех же условиях (рис. 1).

Уровень качества комплексных свойств, вплоть до качества в целом, определялся как математическая свертка оценок свойств более низкого уровня с учетом их весомостей (степени важности), определенных экспертным методом [1].



Рисунок 1 – Структура комплексных свойств, составляющих качество сборной фрезы

Уровень качества комплексных свойств, вплоть до качества в целом, определялся как математическая свертка оценок свойств более низкого уровня с учетом их весомостей (степени важности), определенных экспертным методом [1].

Количественной характеристикой уровня качества единичных свойств, являлась «оценка», представляющая собой отношение показателя качества оцениваемой конструкции к аналогичному показателю конструкции, принятой за эталон. Комплексные свойства качества фрез рассматривались на трех стадиях: проектирования, изготовления и эксплуатации.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Цель настоящей работы – повышение качества многолезвийного инструмента за счет выбора рационального инструментального материала.

Экспертная оценка показала, что наиболее важными свойствами качества фрез являются надежность и износостойкость режущих пластин [3]. При

работе многолезвийного инструмента, например, сборных торцовых фрез, отказ одного зуба не приводит к потере работоспособности инструмента. В производственных условиях часто эксплуатируют инструмент до полного его отказа, что приводит к резкому снижению безотказности и долговечности инструмента. Целесообразный уровень надежности определяется, исходя из его оптимизации по двум экономическим критериям: себестоимость обработки деталей инструментом и эксплуатационные расходы. Для обеспечения целесообразного уровня надежности, который для торцовых фрез находится в диапазоне 0,82 – 0,95, получены математические модели для расчетов показателей надежности для различных стратегий замены отказавших элементов сборного режущего инструмента.

Пусть инструмент с числом зубьев Z заменяют (восстанавливают работоспособность) при m безотказно работающих зубьях.

Если фреза считается работоспособной до выхода из строя всех зубьев, то с точки зрения надежности она представляет собой параллельную систему. Если предположить, что безотказность фрезы обеспечена при отказе $(z-m)$ зубьев, то режущий инструмент можно представить как систему с резервированием, так как при работе всех зубьев инструмента они находятся примерно в одних условиях, а при отказе одного зуба остальные принимают на себя его нагрузку. При этом интенсивность расхода ресурса резервных элементов до момента выхода из строя хотя бы одного зуба значительно ниже. Если предположить, что надежности всех зубьев равны, то вероятность безотказной работы фрезы определится:

$$R_{\Phi} = 1 - [1 - R_z^z]^{m+1},$$

где R_z - вероятность безотказной работы каждого зуба. Отсюда число безотказно работающих зубьев фрезы для обеспечения рационального уровня надежности всей фрезы R_{Φ} :

$$m = \frac{\log[1 - R_{\Phi}(t)]}{\log[1 - R_z^z]} - 1 \quad (1)$$

Целесообразный уровень надежности фрезы определяется исходя из критериев суммарных затрат на эксплуатацию инструмента и на его стоимость[4]. В зависимости от необходимого уровня надежности фрезы выбирается стратегия замены ее режущих элементов[8].

Статистические исследования отказов торцовых фрез показали, что закон их стойкости не противоречит экспоненциальному. Математическая обработка результатов статистических исследований позволила установить вероятность безотказной работы R_z каждого зуба в отдельности. Исследование суммарных затрат на эксплуатацию фрезы позволило установить уровень надежности R_{Φ} , соответствующий минимуму кривой суммарных затрат.

Так, если необходимо обеспечить уровень надежности фрезы $R_{\Phi}=0,95$ при надежности каждого зуба $R_z=0,9$, используя выражение (1), определим, что замену фрезы с $z=10$ необходимо производить при 4х отказавших зубьях.

Для проверки адекватности математической модели надежности фрез были проведены расчеты прочности и жесткости фрез методом конечных элементов при разных стратегиях замены отказавших элементов. Схема нагружения составлялась для условия полуставового фрезерования с силой резания $P_z=6000\text{Н}$. Эпюра эквивалентных напряжений рассчитывалась для фрез с числом зубьев $z=6$, определялась величина напряжения, коэффициента запаса прочности, величину перемещения элементов конструкции. При отказе одного зуба фрезы нагрузка распределялась между оставшимися пятью зубьями, при отказе двух зубьев нагрузка увеличилась на оставшихся четырех зубьев (рисунок 2)

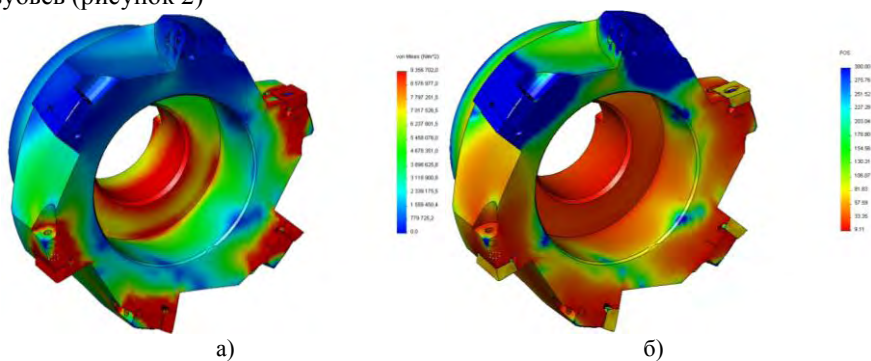


Рисунок 2 – Исследования прочностных показателей фрезы:

а) эпюра распределения напряжений; б) эпюра распределения запаса прочности.

Расчеты показали, что достаточный запас прочности сохраняется при отказе двух зубьев из шести, что соответствует уровню надежности фрезы $R_\phi=0,95$. Отказ большого числа зубьев фрезы приводит к потере запаса прочности и существенному повышению напряжений в зоне резания.

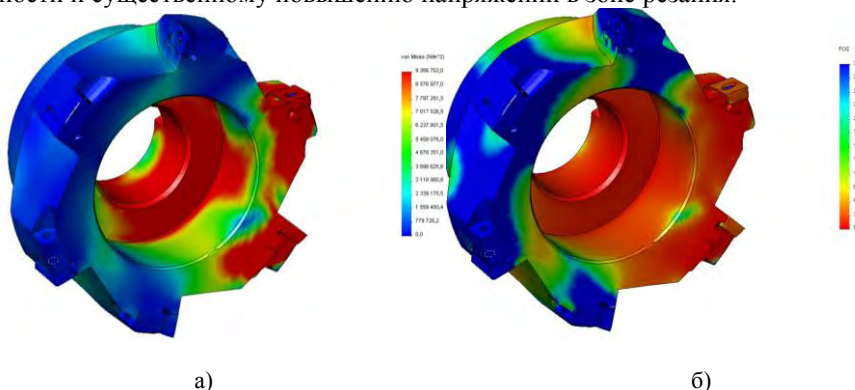


Рисунок 3 – Исследования прочностных показателей фрезы при работоспособности 2-х зубьев:

а) эпюра распределения напряжений; б) эпюра распределения запаса прочности

Таким образом, для данной фрезы с $z=6$ подтверждена целесообразность снятия фрезы со станка для замены отказавших элементов при отказе двух зубьев для обеспечения заданного уровня ее надежности.

Для исследования износостойкости торцовых твердосплавных фрез были проведены испытания фрез, оснащенных пластинами разных фирм - изготовителей в условиях ЗАО НКМЗ. Испытуемые фрезы применялись на станках фрезерно-расточной группы, например, горизонтально-расточной станок TOS Warns Dort. Проверялись на износостойкость фрезы с пластинами фирм Seco, Ceratizit, Taegu Tec, Iscar, ZCC CT, Sandvik Coromant.

В результате получены реализации износа для пластин, изготовленных разными фирмами-изготовителями.

Условия испытаний приведены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1 – Условия испытаний торцовых фрез $z = 4$

| Станок | Обрабатываемая деталь, НВ | Режущий инструмент | Ширина фрезерования В, мм | Режимы резания | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|----------------|----------------|--------------------|----------|-----------|
| | | | | t, мм | S_z , мм/зуб | $S_{мин}$, мм/мин | V, м/мин | n, об/мин |
| Горизонтально-расточной TosWarns Dort | Сталь 7ХГ2ВМ НВ 270 | Фреза $z=3$ | 24 | 3 | 0,18 | 970 | 180 | 1800 |

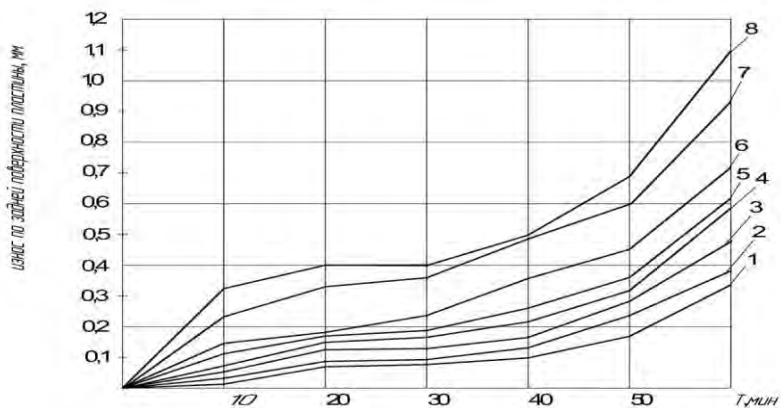


Рисунок 4 – Результаты сравнительных испытаний торцовых фрез $z = 4$:

1,3 – пластины фирмы Seco; 2, 4 – пластины фирмы Ceratizit; 5 – пластины фирмы Taegu Tec; 6, 7 – пластины фирмы Iscar; 8 – пластины фирмы ZCC CT.

Таблица 2 – Условия испытаний твердосплавных торцовых фрез $z=3$ при фрезеровании плоскости с уступом

| Вид обработки | Ширина фрезерования В, мм | Режимы резания | | | | Средний период стойкости, мин |
|------------------------|---------------------------|----------------|----------------|--------------|----------|-------------------------------|
| | | t, мм | S_z , мм/зуб | Sмин, мм/мин | V, м/мин | |
| Фрезерование уступа | 3 | 4 | 0,22 | 1320 | 200 | 69 |
| Фрезерование плоскости | 26 | 3 | 0,22 | 1320 | 200 | |

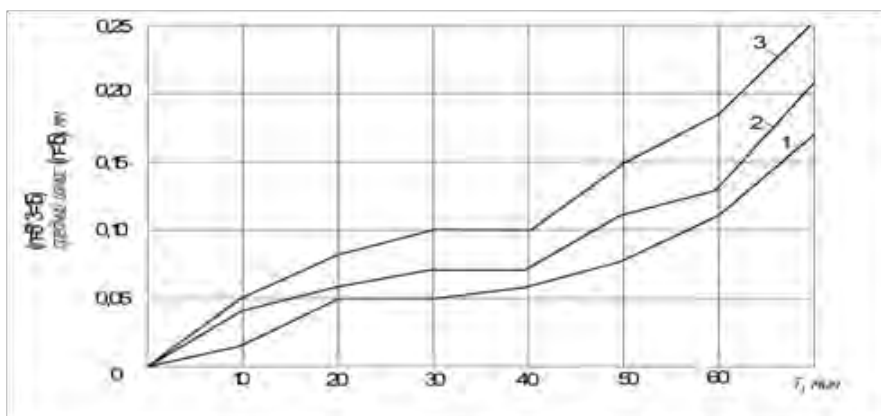


Рисунок 5 – Результаты сравнительных испытаний износостойкости торцовых фрез с пластинами разных фирм для фрезерования уступов (Сталь 20X, НВ 200):

- 1 – пластины фирмы Seco APMX 160408TR – M14T350M;
 2 – пластины фирмы Iskar APKT 1604PDR – 76 IC928; 3 – пластины фирмы Sandvik Coromant APMT 160408 – M4240.

Таблица 3 – Условия испытаний пластин при фрезеровании плоскости

| Вид обработки | Ширина фрезерования В, мм | Режимы резания | | | | Средний период стойкости, мин |
|------------------------|---------------------------|----------------|----------------|--------------|----------|-------------------------------|
| | | t, мм | S_z , мм/зуб | Sмин, мм/мин | V, м/мин | |
| Фрезерование плоскости | 24 | 3 | 0,18 | 970 | 180 | 44 |

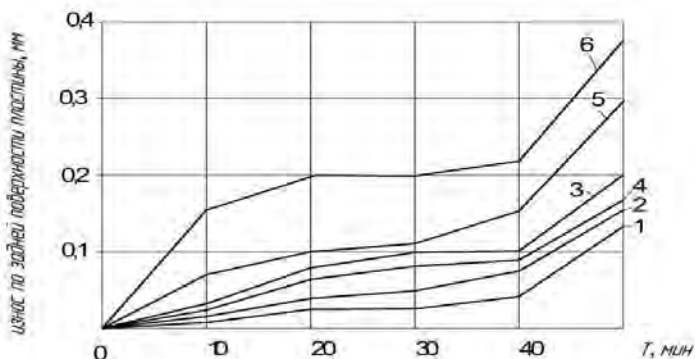


Рисунок 6 – Реализация износа пластин (Фрезерование плоскости, $B=24$ мм, $t=3$ мм, $a_p=0,18$ мм/зуб, $S_{мин}=970$ мм/мин, $V=180$ м/мин, режущий инструмент Фреза R 217.69 – 03032 – 16, $z=3$):
 1 – пластины фирмы Seco; 2 – пластины фирмы Ceratizit;
 3 – пластины фирмы Ceratizit; 4 – пластины фирмы Taegu Tec;
 5 – пластины фирмы Iskar; 6 – пластины фирмы ZCC CT.

Результаты испытаний показали, что для фрез с числом зубьев равным трем при фрезеровании плоскости наименьший износ показали пластины фирмы Seco, Taegu Tec и Ceratizit. У пластин этих фирм разница износов незначима. Фрезы, оснащенные пластинами фирм Iscar и ZCC CT показали наибольший износ.

При фрезеровании уступов торцевыми фрезами с числом зубьев $Z=3$ наименьший износ наблюдался у фрез с пластинами фирмы Sandvik Coromant, а наибольший износ у пластин фирм Seco, Iscar.

При фрезеровании торцевой фрезой с $Z=4$ максимальный износ – у пластин ZCC CT, а наименьший у пластин фирм Seco, Iscar, Ceratizit, Taegu Tec.

ВЫВОДЫ

Исследования свойств, составляющих качество торцевых фрез показали, что важнейшими свойствами являются их надежность и износостойкость. Теоретические исследования надежности сборных фрез как системы элементов позволили получить математические модели для расчета уровня надежности сборных фрез и обоснования стратегии замены режущих элементов. Це-

лесообразный уровень надежности сборной фрезы определяется по критерию суммарных затрат на ее проектирование, изготовление и эксплуатацию. Исследования износостойкости фрез на базе сравнительных испытаний в производственных условиях показали, что для фрез, оснащенных пластинами твердого сплава, изготовленными разными фирмами-изготовителями, наибольшая износостойкость у пластин фирм Sandvik Coromant, Ceratizit, Seco. Поэтому для повышения качества торцовых твердосплавных фрез целесообразно использовать режущие пластины этих фирм.

Список использованных источников: 1. *Клименко Г.П.* Основы рациональной эксплуатации режущего инструмента. – Краматорск, ДГМА, 2006. – 200с. 2. *Клименко Г.П.* Вероятностный подход к оценке износа и разрушений режущего инструмента/Г.П. Клименко, А.Ю. Андронов, Н.А.Ткаченко//Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб.наук.праць. – Краматорськ – Київ: ДДМА, 2006. – Вип.20. – С.8-12. 3. *N.S.Ravska* Cutting tool wear heavy lathe/ *N.S.Ravska, G.P. Klymenko, M.A. Tkachenko*//Energy and environmental aspects of tribology. – Cracow: AGH University of Science and technology, 2010. – с. 137 – 147. 4. *Клименко Г.П.* Определение надежности концевых фрез сборной конструкции/ Г.П. Клименко , А.В.Хоменко, К.С. Чабан //Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. – Краматорск, вып №26,2010. – 63-67. 5. *Клименко Г.П.* Повышение надежности технологической системы при механообработке на тяжелых токарных станках/ Г.П. Клименко , А.Ю. Андронов //Сучасні технології в машинобудуванні. – с56. Вип. 3. – Харків: НТУ «ХНІ»,2009. – с. 49-54. 6. *Клименко Г.П.* Определение показателей стабильности процесса обработки деталей на тяжелых станках/ Г.П. Клименко, А.В.Хоменко// Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч. – техн. сб. – Харьков: НТУ «ХНУ»,2009. – Вып 77. – с. 95-101. 7. *Клименко Г.П.* Применение марковских и полумарковских цепей при оценке надежности технологической системы/ Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов. –Донецк: Дон-НТУ, 2004. –Вып 28.- с.71-76. 8. *Клименко Г.П.* Обеспечение надежности технологической системы оптимальными стратегиями замены инструмента/Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем. Сборник статей в 2-х т.Т2. –Краматорск: ДГМА, 1997. – с.65-72. 9. *Клименко Г.П.* Определение надежности обслуживания режущего инструмента/ Г.П. Клименко, Я.В. Васильченко//Высокие технологии в машиностроении. Сборник научных статей. - Харьков: ХГПУ, 2000. – С. 134-137.

Поступила в редколлегию 15.06.2012